

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

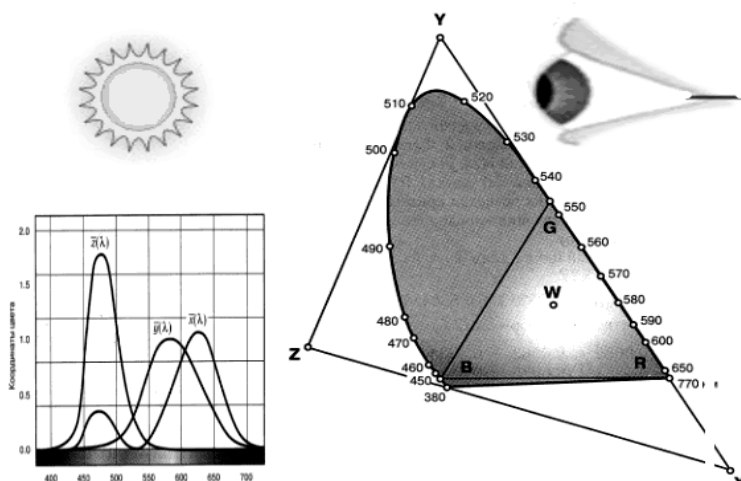
С. С. Овчинников, О. О. Сіробаба

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять, самостійної роботи студентів та виконання контрольних
(розрахунково-графічних) робіт з дисципліни

**ФІЗІОЛОГІЧНА ОПТИКА ТА
КОЛОРИМЕТРІЯ**

*(для студентів 4 курсу денної і 4 курсу заочної форм
навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”,
0906 “Електротехніка ” спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”)*



**ХАРКІВ
ХНАМГ
2010**

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи студентів та виконання контрольних (розрахунково-графічних) робіт з дисципліни “Фізіологічна оптика та колориметрія ” (для студентів 4 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”, 0906 “Електротехніка ” спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Овчинников С.С., Сіробаба О. О. - Х.: ХНАМГ, 2010. – 43 с.

Укладачі: д.т.н., проф. С.С. Овчинников
О. О. Сіробаба

Рецензент: к.т.н., проф. В. О. Салтиков

Затверджено кафедрою світлотехніки і джерел світла
протокол № 6 від 2 квітня 2010 р.

З М І С Т

	Стор.
Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГІЧНА ОПТИКА.....	5
1.1. Оптична система ока	5
1.2. Функції зору	7
1.3. Показник засліплення	12
1.4. Показник дискомфорту	13
1.5. Задачі для поточного контролю знань на аудиторних заняттях	19
РОЗДІЛ 2. КОЛОРИМЕТРІЯ	24
2.1. Основні колориметричні співвідношення	24
2.2. Міжнародні колориметричні системи	25
2.3. Методика розрахунку індексу кольоропередачі випромінювання	26
2.4. Задачі для поточного контролю знань на аудиторних заняттях	31
Додатки	35

ВСТУП

Курс «Фізіологічна оптика та колориметрія» викладається студентам 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальності 7.090605 «Світлотехніка та джерела світла».

У даному курсі розглядаються основні уявлення і поняття фізіологічної оптики та колориметрії, основні закономірності та методи кількісної оцінки роботи органа зору, методи колориметричних розрахунків характеристик випромінювання, що необхідні для якісної та кількісної оцінки світлового та колориметричного середовища, в якому перебуває людина.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння студентами основних уявлень і понять фізіологічної оптики та колориметрії, механізму сприймання світла і кольору, що необхідні для вивчення спеціальних світлотехнічних дисциплін.

Розглядаються основні закономірності роботи органа зору, методи кількісної оцінки колориметричних характеристик випромінювання. Надаються методи кількісної оцінки роботи органа зору, якості відтворення кольору та розрахунку колориметричних характеристик різних випромінювачів.

У результаті вивчення дисципліни студент мусить:

Знати: основні закономірності роботи органа зору, методи кількісної оцінки колориметричних характеристик випромінювання.

Вміти: використовувати методи кількісної оцінки роботи органа зору, характеристик випромінювання, оцінювати спектральний склад випромінювання, розуміти в колориметричних характеристиках різних випромінювачів та якості відтворення кольору.

РОЗДІЛ 1. ФІЗІОЛОГІЧНА ОПТИКА

1.1. Оптична система ока

Глибина акомодатії – відстань між найдальшою й найближчою точками ясного бачення називають глибиною акомодатії. Вимірюється в діоптріях.

Глибину акомодатії A в діоптріях розраховують:

$$A = \frac{1}{l_o} - \frac{1}{l_o}, \quad [\text{дптр}] \quad (1.1)$$

де $l_o, i l_o$ [м]- відстані відповідно від найближчої і найдальшої спостережуваних точок до ока.

Діаметр зіниці d можна розрахувати за рівнянням, запропонованим Крауфордом:

$$d = 5 - 3th(0,4 \lg L_\phi) \quad [\text{мм}] \quad (1.2)$$

де L_ϕ [кд·м⁻²] яскравість фону.

Середнє око - спрощена фізична модель ока, яка представляє собою оптичну систему, що має, на відміну від схематичного ока, тільки одну поверхню, що заломлює (Рис. 1.1).

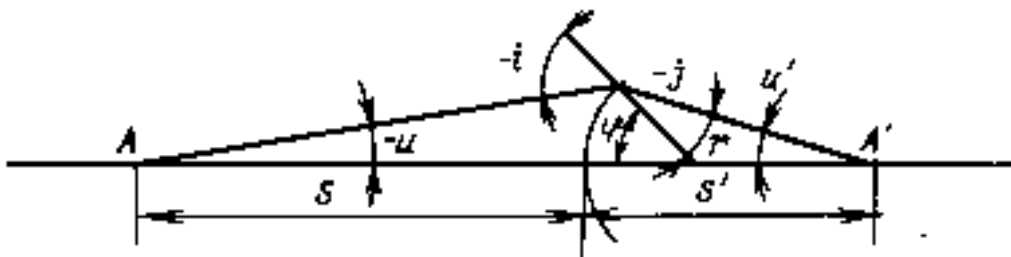


Рис.1.1 – Хід нульового променя

Заломлююча сила ока – виражається за рівнянням:

$$\frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_2}{S'} - \frac{n_1}{S}, \quad [\text{дптр}] \quad (1.3)$$

де n_1, n_2 - показники переломлення повітря й склоподібного тіла, r - радіус кривизни роговиці, S' - довжина ока, S - відстань до об'єкта спостереження.

Параметри середнього ока:

Заломлююча сила - 58,8дптр.

Задня фокусна відстань ока $f_2 = 23,8$ мм.

Радіус кривизни заломлюючої поверхні $r=6,8$ мм.

Показники заломлення $n_1 = 1$, другого середовища $n_2=1,4$.

n_2/f_2 — оптична сила;

Освітленість сітківки в зоні зображення об'єкта:

$$E_c = \frac{\tau \cdot g}{(f_2 - r)^2} L_0, \quad [\text{лк}] \quad (1.4)$$

де τ - коефіцієнт пропускання очних середовищ, f_2 – задня фокусна відстань ока, L_0 – яскравість об'єкта, g - площа зіниці ока (см^2), d - діаметр зіниці ока (см), E_c - освітленість сітківки, r - радіус кривизни заломлюючої поверхні середнього ока.

$$E_c = gL_0 \quad [\text{трол}] \quad (1.5)$$

де E_c - освітленість сітківки (троланд), g -площа зіниці (мм^2), L_0 – яскравість об'єкта.

Ефективна (дійсна) освітленість сітківки:

$$E_{c-e} = \frac{g_e L_0 \tau}{(f_2 - r)^2} \quad [\text{лк}] \quad (1.6)$$

де g_e - ефективна площа зіниці (см^2), E_{c-e} – ефективна освітленість сітківки, L_0 - яскравість об'єкта.

$$E_{c-e} = g_e L_e, \quad (1.7)$$

де $g_e = \pi r^2 (1 - 0,0425r^2 + 0,00067r^4)$ - ефективна площа зіниці (мм^2), r — радіус зіниці (мм), E_{c-e} – ефективна освітленість сітківки (трол).

Освітленість зіниці круглою плямою з кутовим розміром кола $15'$,

$$E_z = 0,665 \cdot 10^{-7} \alpha^2 L_0 \quad [\text{лк}] \quad (1.8)$$

де E_z – освітленість зіниці, лк; L_0 - яскравість об'єкта, $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$; α - кутовий розмір круга, мін.

Абсолютна світлова чутливість - визначається як величина, зворотна величині абсолютного світлового порога, тобто найменшій величині світлового подразника, при якому вже виникає зорове відчуття. Визначається при $L_\phi=0$:

$$L_{\Pi} = L_{\Pi \alpha=50} (0,047 + \sqrt{\Delta\omega})^2, \quad [\text{кД} \cdot \text{м}^{-2}] \quad (1.9)$$

де $L_{\Pi \alpha=50} = 10^{-6} \text{ кД} \cdot \text{м}^{-2}$ - абсолютний світловий поріг - яскравість кола з білим випромінюванням, що виявляється на фоні з $L_{\phi}=0$ при кутовому розмірі кола $\alpha=50^\circ$ й імовірності виявлення $p=0,5$, ω - тілесний кут, у межах якого видне коло.

$$L_{\Pi} = 2,06 \cdot 10^{-9} \Delta\omega^{-1} \quad [\text{кД} \cdot \text{м}^{-2}] \quad (1.10)$$

де L_{Π} – порогова яскравість кола, що виявляється на фоні з яскравістю $L_{\phi}=0$, $\Delta\omega$ – тілесний кут, що опирається на коло з кутовим розміром $\alpha < 15'$, $\Delta\omega = 0,665 \cdot 10^{-8} \alpha^2$ при $\alpha < 15'$. $L_n = c \cdot \alpha^{-n}$ (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Залежність коефіцієнтів n і c від α

α , не більше	15'	15'—120'	120'—600'
n	2	1,25	0,54
c , $\text{кД} \cdot \text{м}^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	10^{-2}	$2,74 \cdot 10^{-4}$

Пороговий блиск $E_{\Pi 0}$ – порогова освітленість зіниці, при $L_{\phi}=0$

$$E_{\Pi 0} = L_p \Delta\omega, \quad [\text{лк}] \quad (1.11)$$

де $\Delta\omega$ - тілесний кут, у межах якого розташоване джерело, що має абсолютну граничну яскравість.

1.2. Функції зору

Контрастна чутливість - здатність людини бачити об'єкти, що слабо відрізняються за яскравістю від фону. Визначається величиною, зворотною пороговому контрасту $K_{\Pi} = \frac{\Delta L}{L_{\phi}}$, де ΔL - порогова різниця яскравостей, L_{ϕ} - яскравість фону.

Пороговий негативний контраст кола при ймовірності виявлення $p=0,5$

$$(k_{\Pi})_{0,5} = \frac{1}{b L_{\phi}^{1-a}}, \quad (1.12)$$

де a та b — параметри, що залежать від кутового розміру кола і яскравості фону (Додаток 1), L_{ϕ} - яскравість фону ($\text{кД} \cdot \text{м}^{-2}$).

Пороговий позитивний контраст кола при ймовірності виявлення $p=0,5$:

$$(k_{\Pi})_{0,5} = k_s (10^{\frac{1}{0,9}\alpha} - 1) = k_s C_{\alpha}, \quad (1.13)$$

де α – кутовий розмір (при $1' < \alpha < 16'$) кола (мін), k_s – параметр, що залежить від L_{ϕ} , C_{α} - граничні контрасти при $\alpha=1'$ і $\alpha=16'$ і даної яскравості фону.

Пороговий контраст компактного об'єкта з імовірністю виявлення $p=0.5$ (метод порогів) $C_{\alpha_екв}$ визначається за вираженням $C_{\alpha i}$ для кола із заміною α_i , на $\alpha_{екв}$:

$$(k_{\Pi})_{0.5} = k_s C_{\alpha_екв}, \quad (1.14)$$

де $\alpha_{екв} = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$, A — площа компактного об'єкта в кутових мінутах у квадраті.

Значення $C_{\alpha i}$, наведені в табл. 1.2

Таблиця 1.2 – Залежність $C_{\alpha i}$ від α_i

α_i	$\alpha < 1'$	$1' < \alpha < 16'$	$\alpha > 16'$
$C_{\alpha i}$	$10^{1/0.9\alpha_0} - 1$	$11.9/\alpha^2$	$0.693/\sqrt{\alpha}$

Пороговий контраст прямокутника при ймовірності виявлення $p = 0,5$

$$k_{ld} = \sqrt{k_l k_d} = k_s \sqrt{C_{d_екв} C_{b_екв}}, \quad (1.15)$$

де l і d – кутові розміри сторін прямокутника, $k_{\Pi l}$ і $k_{\Pi d}$ – еквівалентні граничні контрасти з виявлення квадратів з кутовими розмірами сторін l і d у кутових мінутах.

Пороговий контраст при заданій імовірності виявлення p :

$$k_{\Pi} = (k_{\Pi})_{0.5} (1 + \sigma_o x_{p+}), \quad (1.16)$$

$$\sigma_o = \frac{\sigma}{(k_{\Pi})_{0.5}}, \quad (1.17)$$

де k_{Π} і $(k_{\Pi})_{0.5}$ – порогові контрасти при ймовірності виявлення p і $p=0,5$,

σ – середня квадратична похибка граничного контрасту, x_{p+} – визначають за $\Phi^*(x) = p$, $\sigma_{отн} = \sigma / (k_{\Pi})_{0.5} = 0,333$ при визначенні порогового контрасту методом порогів.

Пороговий контраст, знайдений за методом постійних стимулів:

$$(k_{\Pi})_{0.5}^{p.s.} = \sigma x_{p-}, \quad (1.18)$$

де x_{p-} визначають по $\Phi^*(x) = p$ – імовірність правильної відповіді про відсутність пред'явлення стимулу (додаток 1), p^- – імовірність фіктивних тривог, σ – середня квадратична похибка.

$$(k_{\Pi})_{0.5}^{II.C.} = (k_{\Pi})_{0.5}^{p.k.} \frac{x_{p-}}{3} = (k_p)_{0.5}^{p.s.} c_1 \quad (1.19)$$

Пороговий контраст із імовірністю p , знайдений методом постійних стимулів

$$k_{p,p}^{П.К.} = k_{p0.5}^{П.К.} \left(1 + \frac{x_{p+}}{x_{p-}}\right) \quad (1.20)$$

При двох альтернативах без інструкцій спостерігачеві

$$\sigma_{0.5}^{П.С.} = \frac{\sigma}{(k_p)_{0.5}^{П.К.}} = \frac{1}{x_{p-}} \quad (1.21)$$

де $(k_p)_{0.5}^{П.К.}$ - пороговий контраст, знайдений методом постійних стимулів при ймовірності виявлення $p=0,5$, x_{p-} - визначається по $\Phi^*(x) = 1 - p_{\phi,mp}$ (див. додаток 1), $p_{\phi,mp}$ - імовірність фіктивних тривог, яка залежить від інструкції спостерігача й апріорної ймовірності пред'явлення сигналу (стимулу).

Значення параметрів для різних інструкцій наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Значення параметрів для різних інструкцій

	Інструкція				
Параметр	1	2			3
p_{apr}	0,5	0,35	0,5	0,75	0,5
$p_{\phi,mp}$	0,34	0,098	0,14	0,21	0,04
$\sigma_{0.5}^{p.s.}$	2,44	0,775	0,925	1,21	0,57
$c_1 = \frac{x_{p-}}{3}$	0,138	0,43	0,36	0,27	0,585

Позначення: 1 - небажані пропуски сигналів, 2 - небажані пропуски сигналів і фіктивні тривоги, 3 - небажані фіктивні тривоги.

По Блэкуэллу:

$\sigma_{отн}^{pr} = 0.48$ при чотирьох альтернативах,

$\sigma_{отн}^{pr} = 0.39$ с виправленням на випадковий успіх.

$$(p_{\phi,mp})_{p_{apr}} = \frac{(p_{lt})_{0.5} \cdot p_{apr}}{0,5}, \quad (1.22)$$

де $(p_{\phi,mp})_{p_{apr}}$ й $(p_{\phi,mp})_{0.5}$ - відповідно ймовірності фіктивних тривог при апріорних імовірностях p_{apr} й 0,5.

Імовірність виявлення p_{icm} з виправленням на випадковий успіх

$$p_{icm} = \frac{p_{об} - p_{ф.мр}}{1 - p_{ф.мр}} \quad (1.23)$$

де $p_{об}$ — імовірність виявлення об'єкта.

Ефективна яскравість

$$L_{эф} = \frac{1}{\vartheta} \int_0^{t_p} L(t) f(t) dt, \quad (1.24)$$

де $L(t)$ - функція зміни фотометричної яскравості спалаху; $f(t)$ - функція інерції зору, ϑ - час інерції.

Функції інерції зору

$$f(t) = e^{-\frac{t_p}{\vartheta}} \quad (\text{Аллара}) \quad (1.25)$$

$$f(t) = \frac{\vartheta^2}{(\vartheta + t_p)^2} \quad (\text{Блонделя й Рея}) \quad (1.26)$$

Залежність $\vartheta(L_f)$ наведена в табл.4 Додаток 1.

Яскравість завіси, що вуалює,

$$\beta_e = \frac{10E_3}{\theta^2}, \quad (1.27)$$

де β_e - яскравість завіси, що вуалює, E - освітленість зіниці ока, θ - кут між лінією зору й напрямком променя світла від точкового джерела до ока.

Для різних яскравостей центральної L_1 і периферичної L_2 зон поля спостереження яскравість завіси, що вуалює β_e , описується при $L_1 > L_2$ вираженням

$$\beta_e = 2\pi m L_2 f(\theta)_{\theta_1}^{\theta_2}, \quad (1.28)$$

де $m = 3 \cdot 10^{-3}$.

Сприйманий контраст

$$k' = \frac{k}{(1 + \frac{\beta_e}{L_\phi})} \quad (1.29)$$

де k' й k - сприйманий контраст і контраст об'єкта з фоном; β_e - яскравість завіси, що вуалює L_ϕ , - яскравість фону.

Світлота фону й найпростіших фігур при $L_\phi > L_0$

Світлота фону:

$$B_i = \int_1^{L_i} \frac{dL}{\Delta L_\Pi} + 1 \quad (1.30)$$

1) нічний зір

$$B_i = \int_0^{L_i} \frac{dL}{\Delta L_\Pi^{a_1}} = \frac{b_1}{1-a_1} L_\phi^{1-a_1} = 800 L_\phi^{0.5} \quad (1.31)$$

при $L_i < 0.01$ кд/м² $B_{0.01} = 80$ порогів;

2) сутінковий зір

$$B_i = B_{0.01} + \frac{b_2}{1-a_2} (L_\phi^{1-a_2} - 0.01^{1-a_2}) = 80 + 400(L_\phi^{0.3} - 0.25) \quad (1.32)$$

при $0.01 \leq L_i \leq 10$ кд/м² $B_{10} = 80 + 400(L_\phi^{0.3} - 0.25) = 780$ порогів;

3) денний зір

$$B_i = 780 + \frac{b_3}{1-a_3} (L_\phi^{1-a_3} - 0.01^{1-a_3}) = 780 + 6000(L_\phi^{0.02} - 1.05) \quad (1.32)$$

Значення параметрів $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ наведені нижче (табл. 1.4)

Таблиця 1.4 – Параметри для визначення світлоти фону

Параметр	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3
Значення	0,5	0,7	0,98	400	120	120

1.3. Показник засліплення

Модель Холледея щодо вуалюючої завіси заснована на еквівалентному обліку підвищення порогової різниці яскравостей з появою в полі зору спостерігача блискучого джерела блиску. Відношення граничної різниці яскравостей об'єкта спостереження і фону при наявності і відсутності джерела блиску в полі зору спостерігача визначає коефіцієнт засліпленості:

$$S = \frac{(\Delta L_{\text{пор}})_s}{\Delta L_{\text{пор}}} = \frac{L_{\text{ад}} + \beta}{L_{\text{ад}}}, \quad (1.33)$$

де $\Delta L_{\text{пор}}$ - порогова різниця яскравостей об'єкта на фоні рівномірної яскравості; $(\Delta L_{\text{пор}})_s$ - те ж при наявності в полі зору блискучого джерела, $L_{\text{ад}}$ - яскравість адаптації, β - яскравість вуалюючої завіси.

Показник засліпленості:

$$s = (S - 1) \cdot 10^3, \quad (1.34)$$

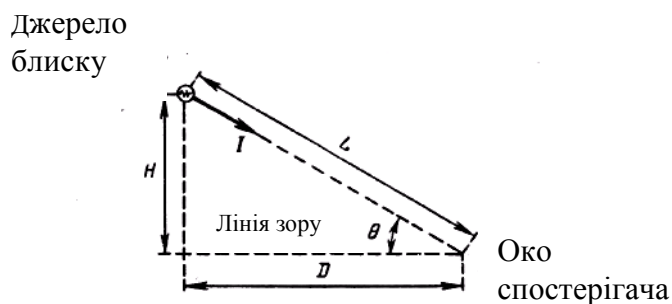


Рис. 1.2 – Схема розташування джерела блиску.

Яскравість вуалюючої завіси, що створена точковим випромінювачем, розташованим у полі зору спостерігача, за рішенням МКО визначається освітленістю площини зіниці ока спостерігача E и кутом θ між лінією зору і променем від блискучого джерела в напрямку до ока спостерігача (рис. 1.2):

$$\beta = m \frac{E_z}{\theta^2}, \quad (1.35)$$

де E_z - освітленість площини зіниці ока спостерігача, лк; θ - кут дії блиску, град, β - яскравість вуалюючої завіси, кд/м², m - постійний коефіцієнт ($m = 10$).

Коефіцієнт m залежить від яскравості блискучого джерела. Для яскравості $L \leq 10^6$ кд/м²

$$m = 3 \lg L - 8,54 \quad (1.36)$$

де L - яскравість блискучого джерела в напрямку до ока спостерігача, кд/м².

Рівняння може застосовуватись для $5 \cdot 10^3 \text{ кд/м}^2 \leq L \leq 10^6 \text{ кд/м}^2$.

Яскравість вуалюючої завіси для $L \leq 10^6 \text{ кд/м}^2$:

$$\beta = (3 \lg L - 8,54) \frac{E_z}{\theta^2} = (3 \lg L - 8,54) \frac{I_{\alpha\beta} \cos \theta}{l^2 \theta^2}, \quad (1.37)$$

де $I_{\alpha\beta}$ - сила світла блискучого джерела в напрямку до ока спостерігача, кд,
 l - відстань від блискучого джерела до ока спостерігача, м.

Для яскравості $L \geq 10^6 \text{ кд/м}^2$, яскравість вуалюючої завіси визначається по формулі:

$$\beta = 9,46 \frac{I_{\alpha\beta} \cos \theta}{l^2 \theta^2}, \quad (1.38)$$

При наявності в полі зору декількох джерел блиску сумарне значення яскравості вуалюючої пелени β :

$$\beta_{\Sigma} = m \left(\frac{E_1}{\theta_1^2} + \frac{E_2}{\theta_2^2} + \dots + \frac{E_n}{\theta_n^2} \right). \quad (1.39)$$

1.4. Показник дискомфорту

Показник дискомфорту за Холлдеєм

$$N = 0,35 + \lg L_d + 0,25 \lg \omega - 0,3 \lg L_{ад}, \quad (1.40)$$

де L_d — яскравість досліджуваної сліпучої плями, кд/м^2 ; ω — тілесний кут сліпучої плями, стер; $L_{ад}$ — яскравість адаптації, кд/м^2 ; N — критерій, що визначає рівень відчуття.

Таблиця 1.5 – Шкала рівнів зорового відчуття по Холлдею

N	Суб'єктивна оцінка якості освітлення
0,30	Ледь помітно
0,60	Найбільше приємно
0,90	Приємно
1,20	На грані приємного і байдужного
1,70	Байдуже
1,90	На грані байдужого і неприємного
2,2	Трохи неприємно
2,4	Неприємно
2,6	На грані нестерпного і неприємного
2,8	Неприємно і болісно

На кафедрі світлотехніки МЕІ для оцінки дискомфортної яскравості L_d у різних умовах, що наближаються до реальних варіантів освітлювальних установок, було проведено під керівництвом М. М. Єпанешникова [1, 9] багато серій досліджень на стендах.

Результати експериментів дозволили сформулювати залежність дискомфортної яскравості L_d від яскравості фону, що визначає рівень адаптації $L_{ад}$, тілесного кута світлої плями ω , що викликає виникнення дискомфорту, і кутового зсуву θ світлої плями щодо лінії зору спостерігача:

$$L_d = M\varphi(\theta)\sqrt{\frac{L_{ад}}{\omega}}, \quad (1.42)$$

де L_d — яскравість світлої плями, що викликає дискомфорт, кд/м^2 ; M — показник дискомфорту за МЕІ; $\varphi(\theta)$ — індекс позиції дискомфортної плями відносно лінії зору спостерігача; $L_{ад}$ — яскравість адаптації, кд/м^2 ; ω — тілесний кут дискомфортної плями, *стер*.

Показник дискомфорту M визначається імовірністю p оцінки відчуття потемніння фону при заданих значеннях $L_{ад}$, ω і θ (рис. 1.5). При імовірності $p = 0,5$ показник дискомфорту має значення $M = 25$. Якщо прийняти, що 50% спостерігачів оцінюють установку дискомфортною, яскравість світлої плями, що викликає дискомфорт:

$$L_d = 25\varphi(\theta)\sqrt{\frac{L_{ад}}{\omega}}, \quad (1.43)$$

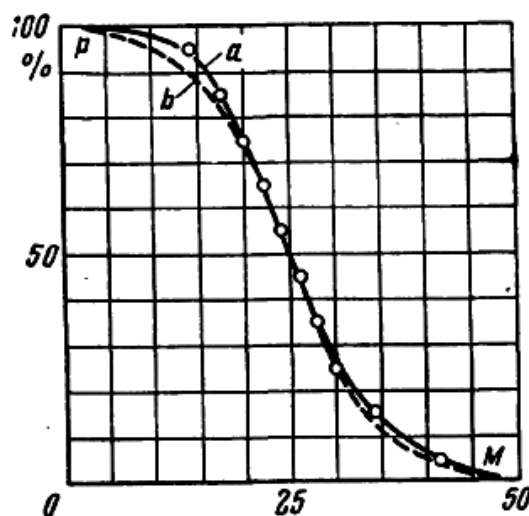


Рис. 1.5 – Залежність імовірності оцінки установки комфортної у функції показника дискомфорту: а — усереднена крива; б — крива Гаусса.

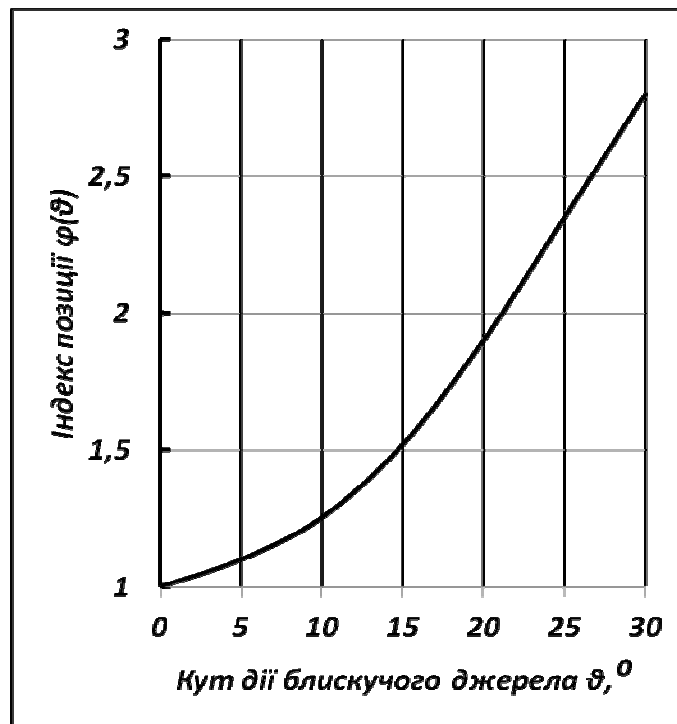


Рис. 1.6 – Залежність індексу позиції від положення блискучого джерела за даними MEI.

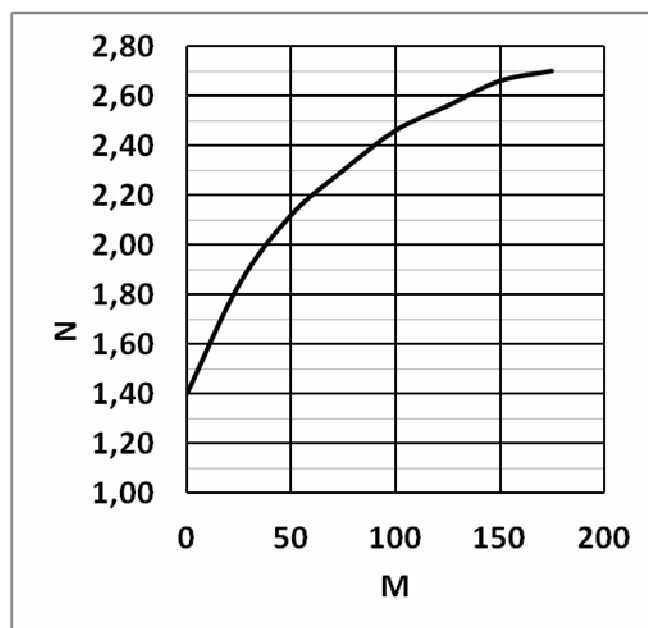


Рис. 1.7 – Залежність показника дискомфорту по Холледю від показника по MEI.

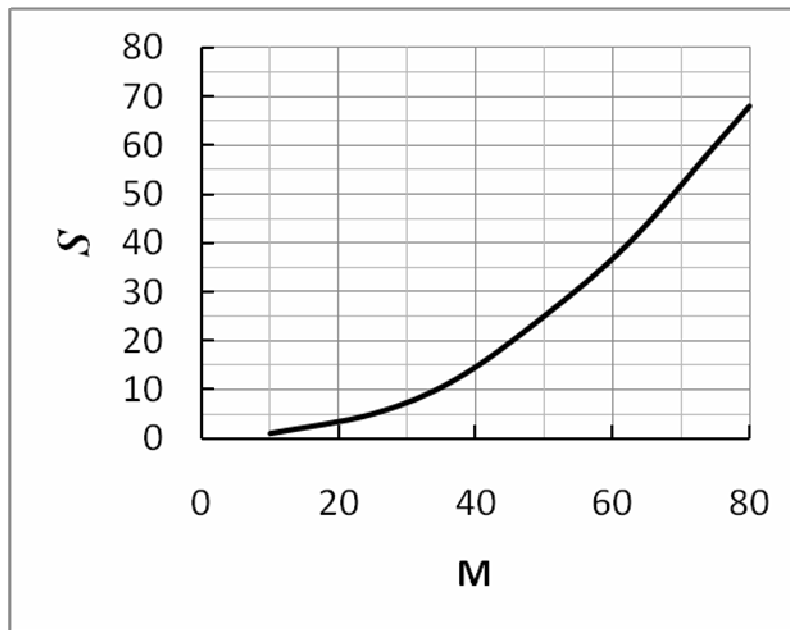


Рис. 1.8 – Залежність показника засліпленості від показника дискомфорту по МЕІ

Правило сумачії показників дискомфорту:

$$M_{\Sigma} = \left[\sum_{i=1}^n M_i^2 \right]^{0,5}, \quad (1.44)$$

Для сукупності точкових випромінювачів, розташованих у полі зору спостерігачів:

$$M = \frac{1}{hL_{ad}^{0,5}} \left[\sum_{i=1}^n I_a L_a f^2(\theta) \right]^{0,5},$$

де I_a, L_a — значення сили світла і середньої габаритної яскравості світлового приладу в напрямку до ока спостерігача, кд, кд/м²; h - висота розташування світлових приладів над рівнем ока спостерігача, м; L_{ad} — яскравість адаптації, кд/м²;

$f(\theta) = \frac{\sin \theta_b \cos \theta_r}{P}$ - функція положення світлового приладу щодо ока спостерігача;

P — індекс позиції за Гутом (рис. 1.8).

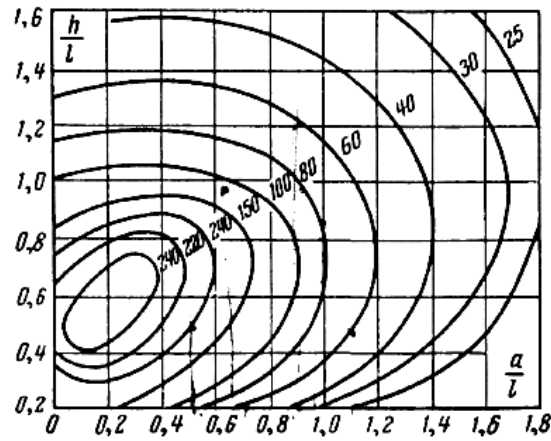


Рис. 1.9 – Графік функції $P_i(\theta)$ для розрахунку сумарного показника дискомфорту.

Показник дискомфорту від елементарної ділянки dl смуги, що світить:

$$dMi = \left[\frac{L_{\alpha_i \gamma}^2 d\omega_i}{P_i^2 L_{ad}} \right]^{0.5}, \quad (1.45)$$

де $L_{\alpha_i \gamma}$ — яскравість смуги, що світить, у напрямку до ока спостерігача;

$d\omega_i$ — тілесний кут елемента d смуги, що світить, з вершиною в точці розташування ока спостерігача; L_{ad} — яскравість адаптації; P_i — функція розташування елементарної ділянки смуги, що світить.

$$M_i = \frac{b^{0.5}}{h^{0.5} L_{ad}^{0.5}} \cos \gamma \left[\int_0^a \frac{L_{\gamma, \alpha_i}^2}{P_i^2} \cos \alpha_i d\alpha_i \right]^{0.5}, \quad (1.46)$$

тому що

$$d\omega_i = \frac{b \cos \beta_i}{r_i^2} dl_i; \quad r_i = \frac{h}{\cos \gamma \cos \alpha_i};$$

$$dl_i = \frac{r_i}{\cos \alpha_i} d\alpha; \quad \cos \beta_i = \cos \alpha_i \cos \gamma,$$

де b — ширина смуги, що світить, м; h — висота розташування смуги над рівнем ока спостерігача, м; r_i — відстань від елемента смуги, що світить, dl_i до ока; γ і α_i — кути, що координують розташування елемента смуги щодо ока спостерігача.

Рівняння (1.45) ускладнено мінливістю індексу позиції P_i для різних ділянок смуги, а також залежністю яскравості від кутів α і γ . Для смуг, що світять, перекритими розсіювачами, що володіють об'ємним розсіюванням, з достатньої для практики точністю можна прийняти $L_{\alpha \gamma} = L_0$, де L_0 — яскравість по напрямках $\alpha = 0$ і $\gamma = 0$. У цьому випадку індекс позиції можна прийняти рівним

середньому геометричному з трьох значень P_i , що відповідають початкові (P_{Π}), середині (P_{cp}) і кінцеві (P_{κ}) смуги, що світить:

$$P = \sqrt[3]{P_{\Pi} P_{cp} P_{\kappa}}. \quad (1.47)$$

Якщо винести яскравість і середнє значення індексу позиції в (1.46) за знак інтегралу і проінтегрувати рівняння, то одержимо:

$$M = \frac{L_0 b^{0.5}}{h^{0.5} L_{ад}^{0.5}} \cdot \frac{\cos \gamma (\sin \alpha)^{0.5}}{P}, \quad (1.48)$$

де P — середнє значення індексу позиції, різне для рівнобіжного і перпендикулярного розташувань смуги, обумовлене (1.47).

Для смуг із ґратами, що екранують, світлорозподіл яких підкоряється правилу $L_{\alpha, \gamma} = L_0 \cos^{n-1} \alpha \cos^{m-1} \gamma$, одержимо:

$$M = \frac{L_0}{P} \cdot \frac{b^{0.5}}{h^{0.5} L_{ад}^{0.5}} \cos^n \gamma \left[\int_0^{\alpha} \cos^{(2m-1)} \alpha d\alpha \right]^{0.5}, \quad (1.49)$$

Для найбільше часто зустрічаючогося випадку однакових захисних кутів у подовжній і поперечній площинах смуги, що світить, рівних 30° , що відповідає $n = m = 2$, одержимо:

$$M = \frac{L_0}{P} \left(\frac{b}{h L_{ад}} \right)^{0.5} \cos^2 \gamma \left[\int_0^{\alpha} \cos^3 \alpha d\alpha \right]^{0.5}, \quad (1.50)$$

Проінтегруючи (1.50), одержимо:

$$M = L_0 \left(\frac{b}{h L_{ад}} \right)^{0.5} \frac{\cos^2 \gamma}{P} \left[\sin \alpha - \frac{1}{3} \sin^3 \alpha \right]^{0.5}. \quad (1.51)$$

1.5. Задачі для поточного контролю знань на аудиторних заняттях

1. Визначте глибину акомодатії нормального ока, якщо ближні відстані дорівнюють 0,25 й 0,3 м.

2. Визначте глибину акомодатії ока, у якого ближня відстань дорівнює 0,45 м, а дальня 1 м.

3. Визначте діаметри зіниці ока за яскравостей поля зору $L_1 = 1$ кд/м² й $L_2 = 100$ кд/м².

4. Об'єкт спостереження має форму кола з кутовим розміром діаметра $d=10'$. Яскравість кола $L_o = 1000$ кд/м², він розташований на фоні з яскравістю $L_\phi = 10$ кд/м².

Визначте освітленості сітківки та зіниці й ефективну освітленість сітківки в люксах. Спектральні коефіцієнти пропускання τ_λ очних середовищ наведені нижче.

λ , нм	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680
τ_λ	0,09	0,16	0,32	0,43	0,46	0,5	0,53	0,56	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,66	0,69

Лінія зору спрямована до центра кола й перпендикулярна його площини. Коло випромінює так само, як стандартне джерело білого світла типу А.

5. Кругла пляма має яскравість $L_o = 1000$ кд/м² і розташована на фоні з яскравістю $L_\phi = 0,005$ кд/м². Визначте освітленість сітківки, ефективну освітленість й освітленість зіниці. Кутовий розмір діаметра плями $\alpha = 10'$. Пляма випромінює, як стандартне джерело А. Лінія зору перпендикулярна площини плями.

6. Кутовий розмір діаметра круглої плями $\alpha = 10'$. Пляма розташована на фоні з $L_\phi = 0$. Визначте граничну яскравість плями й пороговий блиск, якщо лінія зору спрямована до центра плями й перпендикулярна його площини.

7. Рівнояскравий диск із діаметром основи $D=1,6$ м розташований на фоні з $L_\phi = 0$ на відстані 1000 м від зіниці.

Визначте пороговий блиск і порогові яскравості поверхні диска в двох випадках: 1) лінія зору спрямована до центра диска й перпендикулярна

його основі; 2) лінія зору спрямована до центра диска й утворить кут $\theta = 30^\circ$ з перпендикуляром до його основи.

Визначте світловий потік, випромінюваний диском. Диск є стандартним джерелом типу *B*. Товщиною диска зневажаємо.

8. Рівнояскрава куля, кутовий розмір якої із точки спостереження дорівнює $\alpha = 12'$, розташована на фоні з яскравістю, $L_\phi = 0$. Лінія зору спрямована до центра кулі. Освітленість зіниці $E_z = 4$ лк.

Визначте: 1) освітленість сітківки; 2) ефективну освітленість сітківки; 3) світловий потік, випромінюваний кулею.

9. Лінія зору спрямована із точки *B* до центру рівнояскравого циліндра, у якого випромінює тільки бічна поверхня. Освітленість, створювана на зіниці ока $E = 0,1$ лк.

Визначте освітленість сітківки, потік випромінювання та світловий, випромінюваний циліндром, якщо бічна поверхня випромінює однорідний потік з $\lambda = 600$ нм ($H = 3$ м; $l = 4$ м; $h = 0,5$ м; $d = 2,5$ м, $L_\phi = 1$ кд/м²).

Випромінюванням основ циліндра при розрахунку зневажити.

10. Визначте значення негативних порогових контрастів кола, розташованого на фоні з яскравістю $L_\phi = 3,7$ кд/м² при ймовірності виявлення $p = 0,5$. Кутові розміри кола $\alpha_1 = 1'$ й $\alpha_2 = 100'$. Лінія зору перпендикулярна площини кола.

11. Визначте граничні різниці яскравостей кола з негативним контрастом при ймовірності виявлення $p = 0,5$. Кутові розміри кола $\alpha_1 = 1'$ й $\alpha_2 = 10'$. Коло розташовується на фоні з яскравістю $L_{1\phi} = 3,7$ кд/м², $L_{2\phi} = 200$ кд/м². Лінія зору перпендикулярна площини кола.

12. Визначте значення позитивних порогових контрастів кола, кутовий розмір якого $\alpha = 10'$, при яскравостях фону: $L_{1\phi} = 1$ кд/м², $L_{2\phi} = 10$ кд/м², $L_{3\phi} = 40$ кд/м², $L_{4\phi} = 100$ кд/м² і мінімальні значення порогових контрастів при цьому кутовому розмірі кола. Лінія зору перпендикулярна площини кола. Імовірність виявлення $p = 0,5$.

13. Визначте чисельні значення позитивних порогових контрастів кола, кутовий розмір діаметра якого $\alpha = 0,8'$, при тих же значеннях яскравостей

фону й тім же напрямку лінії зору, що й у завданні 12. Імовірність виявлення $p=0,5$.

14. Визначте чисельні значення позитивних порогових контрастів кола, кутовий розмір якого $\alpha = 20'$ при тих же значеннях яскравостей фону й напрямку лінії зору, що й у завданні 12. Імовірність виявлення $p=0,5$.

15. Визначте чисельні значення позитивних порогових контрастів квадратів, кутові розміри сторін яких $\alpha_1=1'$, $\alpha_2=10'$ й $\alpha_3=100'$. Кожен квадрат розташовується на фоні з яскравістю $L_{1\phi} = 1$ кд/м² й $L_{2\phi} = 40$ кд/м². Лінія зору перпендикулярна площини квадрата. Імовірність виявлення $p=0,5$.

16. Визначте значення позитивних порогових контрастів і порогові різниці яскравостей прямокутника з кутовими розмірами сторін $\alpha_a = 1'$ й $\alpha_b = 10'$.

Прямокутник розташовується на фоні з $L_{1\phi} = 1$ кд/м² й $L_{2\phi} = 40$ кд/м². Лінія зору спрямована перпендикулярно площини прямокутника. Імовірність виявлення $p = 0,5$.

17. Визначте значення позитивного порогового контрасту кола, кутовий розмір діаметра якого $a=10'$. Коло розташоване на фоні з яскравістю $L_{\phi}=40$ кд/м². Лінія зору спрямована до центра кола й утворює із перпендикуляром до його площини кут $\theta=60^\circ$. Імовірність виявлення $p = 0,5$.

18. Визначте порогові яскравості рівностороннього трикутника з позитивним контрастом, кутовий розмір сторони якого $\alpha=10'$. Трикутник спостерігається на фонах з яскравостями: $L_{1\phi} = 1$ кд/м², $L_{2\phi} = 40$ кд/м², $L_{3\phi} = 100$ кд/м² й $L_{4\phi} = 140$ кд/м². Імовірність виявлення $p=0,5$.

19. Визначте негативний пороговий контраст прямокутника з кутовими розмірами його сторін $\alpha_1=1'$ й $\alpha_2=10'$. Прямокутник виявляється на фоні з яскравістю $L_{\phi}=2,4$ кд/м². Визначте порогову різницю яскравостей цього прямокутника. Імовірність виявлення $p=0,5$.

20. Пороговий контраст кола, знайдений методом порогів при двох альтернативах, $k_{p0,5} = 0,049$ при ймовірності виявлення $p=0,5$.

Визначте порогові контрасти цього об'єкта спостереження для ймовірностей виявлення $p=0,65$ й $p=0,99$.

21. Пороговий контраст кола $k_{п0,5}=0,8$ знайдений методом порогів й імовірності виявлення $p=0,5$.

Визначте його граничні контрасти при ймовірностях виявлення $p=0,65$ й $p=0,99$.

22. Пороговий контраст кола $k_{p0,5}=0,23$ знайдений методом порогів при ймовірності виявлення $p=0,5$.

Визначте порогові контрасти кола при $p=0,86$ і $p=0,996$.

23. Коло має порогову різницю яскравостей $\Delta L=0,475$ кд/м² при ймовірності виявлення $p=0,5$. Яскравість фону $L_{\phi}=3,7$ кд/м². Порогова різниця яскравостей визначена методом порогів без жорстких інструкцій.

Визначте пороговий контраст цього об'єкта при ймовірності виявлення його $p=0,99$.

24. Визначте позитивні порогові контрасти кола з імовірностями виявлення $p=0,5$ і $p=0,99$. Коло розташоване на равнояскравому фоні з яскравістю фону $L_{\phi}=2,4$ кд/м² і має кутовий розмір $\alpha=2,5'$. Граничні контрасти будуть використані в наступних ситуаціях: 1) необхідно мати мінімум пропусків сигналів (наприклад, при відбракуванні відповідальних деталей); 2) небажані й пропуски сигналів і фіктивні тривоги (наприклад, при роботі оператора за екраном локатора); 3) небажані фіктивні тривоги (наприклад, при відбракуванні невідповідних деталей).

25. Коло має фізичний контраст $\kappa=0,6$ і розташовується на фоні з яскравістю $L_{\phi}=40$ кд/м². Кутовий розмір кола $\alpha=10'$. Лінія зору утворює із перпендикуляром до площини кола кут $\theta=10^\circ$. Визначте чисельні значення видимості кола при ймовірностях виявлення його: $p_1=0,5$ й $p_2=0,95$. Визначте чисельне значення видимості кола, якщо кут $\theta=20^\circ$.

26. Коло з фізичним контрастом $\kappa=0,3$ і кутовим розміром $\alpha=2'$ розташований на фоні з яскравістю $L_{\phi}=200$ кд/м².

Визначте видимість кола, якщо задані наступні інструкції: 1) пропуски сигналів небажані; 2) фіктивні тривоги небажані.

Задана ймовірність виявлення $p=0,96$. Лінія зору перпендикулярна площини кола.

27. Коло й квадрат мають однакові за значенням фізичні контрасти $\kappa=0,5$ із фоном, яскравість якого $L_\phi = 10 \text{ кд/м}^2$. При спостереженні лінія зору утворить із площиною кожної фігури кут $\theta = 45^\circ$. Сторона квадрата й діаметр кола, які видні без перекручувань, мають однакові кутові розміри $\alpha=2'$. Чи можна ці фігури виявити з імовірністю $p=0,95$.

28. Дифузне коло з коефіцієнтом відбиття $\rho=0,8$ і кутовим розміром діаметра $\alpha=10'$ розташований на дифузному фоні, яскравість якого $L_\phi = 10 \text{ кд/м}^2$. Лінія зору перпендикулярна площини кола.

Яким повинен бути коефіцієнт відбиття фону, щоб видимість кола дорівнювала двом порогам при ймовірності виявлення $p=0,9$. При виявленні небажані пропуски сигналу й фіктивні тривоги.

29. Дифузне коло з кутовими розмірами діаметра $\alpha=40'$ розташоване на дифузному фоні з коефіцієнтом відбиття фону $\rho=0,3$. Освітленість фону й кола $E=420 \text{ лк}$. Лінія зору перпендикулярна площини кола. Визначте коефіцієнт відбиття кола, при якому видимість його є граничною з імовірністю виявлення $p=0,99$, а контраст позитивним.

РОЗДІЛ 2. КОЛОРИМЕТРІЯ

2.1. Основні колориметричні співвідношення

Рівняння кольору:

$$P = a'A + b'B + c'C, \quad (2.1)$$

де P - колір випромінювання;

a', b', c' - координати кольору;

A, B, C - основні кольори колориметричної системи ABC;

$m = a' + b' + c'$ - модуль кольору;

$a = a'/m, b = b'/m, c = c'/m$ - координати кольоровості.

Координати кольору складних випромінювань:

$$a' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{a}(\lambda) d\lambda; \quad b' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda; \quad c' = \int \varphi_e(\lambda) \bar{c}(\lambda) d\lambda \quad (2.2)$$

Координати кольору однорідних випромінювань:

$$a' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \bar{a}_{\lambda_i}; \quad b' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \bar{b}_{\lambda_i}; \quad c' = \sum_{i=1}^n \Phi_{e\lambda_i} \cdot \bar{c}_{\lambda_i}; \quad (2.3)$$

де $\bar{a}(\lambda), \bar{b}(\lambda), \bar{c}(\lambda)$ - питомі координати кольору.

$$\bar{a}(\lambda) = \frac{a'}{\Phi_e \lambda}, \quad \bar{b}(\lambda) = \frac{b'}{\Phi_e \lambda}, \quad \bar{c}(\lambda) = \frac{c'}{\Phi_e \lambda}$$

Яскравість кольору

$$L_p = 683 A_p = 683 \cdot (A_a \cdot a' + A_b \cdot b' + A_c \cdot c'), \quad (2.4)$$

де A_p і A_a, A_b, A_c - яскравісні коефіцієнти кольору P і основних кольорів колориметричної системи A, B, C.

Координати кольору відбитих і пропущених оптичними зразками випромінювань:

$$a'_\rho = \int \varphi_e(\lambda) \bar{a}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda; \quad a'_\tau = \int \varphi_e(\lambda) \bar{a}(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda \quad (2.5)$$

2.2. Міжнародні колориметричні системи

Колориметрична система RGB

$$\mathbf{R}: \lambda_R = 700 \text{ нм}, \quad \Lambda_R = 1;$$

$$\mathbf{G}: \lambda_G = 546,1 \text{ нм}, \quad \Lambda_G = 4,591;$$

$$\mathbf{B}: \lambda_B = 435,8 \text{ нм}, \quad \Lambda_B = 0,0601;$$

$$\Phi_R = 683 \text{ лм}, \quad \Phi_G = 3135 \text{ лм}, \quad \Phi_B = 41 \text{ лм}.$$

Колориметрична система XYZ

$$X = 0,4185R - 0,092 G + 0,0009 B$$

$$Y = -0,1588R + 0,2524G + 0,0025 B$$

$$Z = 0,0829R + 0,0157 G + 0,1786 B$$

$$\Lambda_X = 0; \quad \Lambda_Y = 1; \quad \Lambda_Z = 0. \quad \Phi_X = 0; \quad \Phi_Y = 683 \text{ лм}; \quad \Phi_Z = 0.$$

$$x' = 2,17 r' + 1,75 g' + 1,13 b'$$

$$y' = r' + 4,591 g' + 0,0601 b'$$

$$z' = 0,0565 g' + 5,594 b'$$

Колориметрична система K3C

$$K = 2,96X + 1,04;$$

$$3 = -2,174X$$

$$C = 0,217X + 1,02$$

$$\Lambda_K = 1; \quad \Lambda_3 = 0; \quad \Lambda_C = 0. \quad \Phi_K = 683 \text{ лм}; \quad \Phi_3 = 0; \quad \Phi_C = 0.$$

Колориметрична система Φ, λ, P

$\Phi = \Phi_\lambda + \Phi_\delta$ - світловий потік даного кольору. Φ_λ і Φ_δ - світлові потоки випромінювання на довжині хвилі λ і стандартного білого кольору. λ називають колірним тоном випромінювання.

Чистоту кольору p можна визначити за формулою:

$$p = \frac{\Phi_\lambda}{\Phi_\lambda + \Phi_\delta} = \frac{y_\lambda(x - x_\delta)}{y(x_\lambda - x_\delta)} = \frac{y_\lambda(y - y_\delta)}{y(y_\lambda - y_\delta)} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.1 – Параметри стандартних джерел білого кольору:

Тип джерела	Е	А	В	С	D ₆₅
Колірна температура, T _K , К	5000	2856	4874	6774	6504
Координати х	0,333	0,4476	0,3484	0,3101	0,3127
кольоровості у	0,333	0,4075	0,3516	0,3162	0,3290

2.3. Методика розрахунку індексу кольоропередачі випромінювання

1. За заданою спектральною щільністю потоку випромінювання й стандартній кривій додавання в системі XYZ визначаємо координати кольору випромінювання:

$$x' = \sum \varphi_{e_досл}(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (2.7)$$

$$y' = \sum \varphi_{e_досл}(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (2.8)$$

$$z' = \sum \varphi_{e_досл}(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda, \quad (2.9)$$

де $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ - питомі координати кольору ; $\Delta\lambda = 10$ нм.

2. За координатами кольору визначаємо координати кольоровості випромінювання:

$$x = \frac{x'}{x' + y' + z'}; \quad (2.10)$$

$$y = \frac{y'}{x' + y' + z'}; \quad (2.11)$$

3. Колірну температуру можна визначити за графіком, запропонованому Джаддом. На цьому графіку (рис. 2.1), побудованому в координатах x , y , наведена крива кольоровості випромінювань чорного тіла із широкою межею зміни температури - від 900 до 24000 К и нанесені нормалі до цієї кривої в координатах u , v МКО 1960.

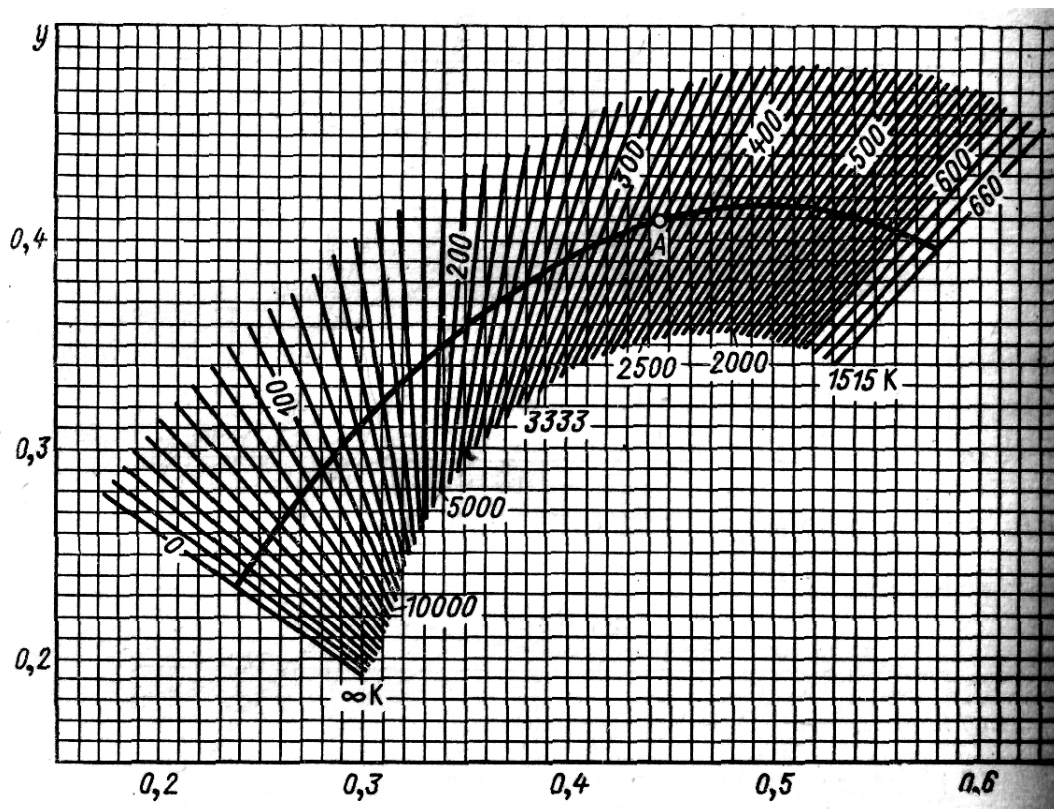


Рис. 2.1 – Лінії постійних значень колірної температури випромінювань на колірному графіку МКО 1931.

4. Для оцінки передачі кольору необхідне джерело еталонного випромінювання. Це повинен бути стандартне джерело, найбільш близьке по кольоровості випромінювання до досліджуваного.

У якості стандартного в методиці МКО розглядається випромінювання чорного тіла з температурою (Додаток 3), рівній колірній температурі досліджуваного джерела світла, але не перевищуючої 5000 К. Якщо колірна температура досліджуваного випромінювання вище 5000 К, то в якості стандартного розглядається джерело D, що відтворює фази денного світла. Кореляційний зв'язок між координатами кольоровості денного світла x_D і y_D при колірних температурах, що міняються в межах від 5000 до 7000 К, і колірною температурою $T_{кол}$ випромінювання описуються наступним багаточленом:

$$x_D = -4,607 \frac{10^9}{T_u^3} + 2,9678 \frac{10^6}{T_u^2} + 0,09911 \frac{10^3}{T_u} + 0,244063 \quad (2.12)$$

$$y_D = -3,000 x_D^2 + 2,870 x_D - 0,275, \quad (2.13)$$

де x_D змінюється в межах від 0,250 до 0,380.

5. На основі отриманих координат кольоровості x_D і y_D визначаємо коефіцієнти, що зважують, M_1 і M_2 .

6. Відносний розподіл спектральної щільності енергетичної яскравості або потоку випромінювання для джерела D розраховується по формулі:

$$L_{eD}(\lambda) = S_0(\lambda) + M_1 S_1(\lambda) + M_2 S_2(\lambda), \quad (2.14)$$

де $S_0(\lambda)$, $S_1(\lambda)$, $S_2(\lambda)$ - табульовані функції від довжини хвилі; M_1 і M_2 - коефіцієнти, що зважують, залежні від кольоровості випромінювання.

7. По стандартних кривих додавання в системі XYZ визначаємо координати кольору випромінювання стандартного джерела D.

$$x'_D = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{x}_\lambda, \quad y'_D = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{y}_\lambda, \quad z'_D = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{z}_\lambda.$$

Потрібно зрівняти випромінювання по яскравості, а в системі XYZ кількісною характеристикою кольору є координата y' , тобто треба дорівняти y' координати кольору випромінювання стандартного і досліджуваного джерела:

$$K_y = y'_{\text{досл}} / y'_D; \quad (2.15)$$

8. Для розрахунку координат кольору 8 основних зразків при освітленні їх досліджуваним джерелом візьмемо значення спектральних коефіцієнтів яскравості 8 контрольних зразків з таблиці (Д.6)

$$x'_{\text{досл}i} = 10 \sum \varphi_{e\text{досл}\lambda} \bar{x}_\lambda \beta_\lambda, \quad y'_{\text{досл}i} = 10 \sum \varphi_{e\text{досл}\lambda} \bar{y}_\lambda \beta_\lambda, \quad z'_{\text{досл}i} = 10 \sum \varphi_{e\text{досл}\lambda} \bar{z}_\lambda \beta_\lambda.$$

9. Розрахуємо координати кольоровості 8 основних зразків при освітленні їх досліджуваним джерелом.

$$x_{\text{досл}i} = \frac{x'_{\text{досл}i}}{x'_{\text{досл}} + y'_{\text{досл}} + z'_{\text{досл}}}; \quad y_{\text{досл}i} = \frac{y'_{\text{досл}i}}{x'_{\text{досл}} + y'_{\text{досл}} + z'_{\text{досл}}}, \quad (2.16)$$

де $x_{\text{досл}i}$, $y_{\text{досл}i}$ - координати кольоровості i -го зразка при освітленні його досліджуваним джерелом;

$x'_{\text{досл}i}$, $y'_{\text{досл}i}$, $z'_{\text{досл}i}$ - координати кольору i -го зразка при освітленні його досліджуваним джерелом.

10. Для розрахунку координат кольору 8 основних зразків при освітленні їх стандартним джерелом D візьмемо значення спектральних коефіцієнтів яскравості 8 контрольних зразків з таблиці (Д.6).

$$x'_{Di} = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{x}_{\lambda} \beta_{i\lambda}, \quad y'_{Di} = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{y}_{\lambda} \beta_{i\lambda}, \quad z'_{Di} = 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{z}_{\lambda} \beta_{i\lambda}, \quad (2.17)$$

11. Розрахуємо координати кольоровості 8 основних зразків при освітленні їх стандартним джерелом.

$$x_{Di} = \frac{x'_{Di}}{x'_{Di} + y'_{Di} + z'_{Di}}; \quad y_{Di} = \frac{y'_{Di}}{x'_{Di} + y'_{Di} + z'_{Di}}, \quad (2.18)$$

де x_{Di} , y_{Di} – координати кольоровості i -го зразка при освітленні його стандартним джерелом;

x'_{Di} , y'_{Di} , z'_{Di} – координати кольору i -го зразка при освітленні його стандартним джерелом.

Змінімо пропорційно координати кольору 8 зразків при освітленні їх стандартним D джерелом з урахуванням випромінювань:

$$x'_{0Di} = K_y \cdot 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{x}_{\lambda} \beta_{i\lambda} \quad y'_{0Di} = K_y \cdot 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{y}_{\lambda} \beta_{i\lambda} \quad z'_{0Di} = K_y \cdot 10 \sum \varphi_{eD\lambda} \bar{z}_{\lambda} \beta_{i\lambda}$$

Переходимо до рівноконтрастної системи UVW.

12. Розрахунок координат кольоровості 8 зразків при освітленні їх досліджуваним джерелом у системі UVW.

$$u_{дослі} = \frac{4x_{дослі}}{-2x_{дослі} + 12y_{дослі} + 3}; \quad (2.19)$$

$$v_{дослі} = \frac{9y_{дослі}}{-2x_{дослі} + 12y_{дослі} + 3}, \quad (2.20)$$

$u_{дослі}$, $v_{дослі}$ – координати кольоровості зразків при освітленні їх досліджуваним джерелом у системі UVW.

13. Розрахунок координат кольоровості 8 зразків при освітленні їх стандартним джерелом D у системі UVW.

$$u_{0Di} = \frac{4x_{0Di}}{-2x_{0Di} + 12y_{0Di} + 3}; \quad (2.21)$$

$$v_{0Di} = \frac{9y_{0Di}}{-2x_{0Di} + 12y_{0Di} + 3}, \quad (2.22)$$

u_{0Di} , v_{0Di} - координати кольоровості зразків при освітленні їх стандартним джерелом D у системі UVW.

14. Розрахуємо координати кольоровості випромінювання стандартного джерела D у системі UVW.

$$u_D = \frac{4x_D}{-2x_D + 12y_D + 3}; \quad (2.23)$$

$$v_D = \frac{9y_D}{-2x_D + 12y_D + 3}, \quad (2.24)$$

$$u_D = 0,20442; \quad v_D = 0,480836.$$

15. Розрахуємо координати кольоровості випромінювання досліджуваного джерела у системі UVW.

$$u_{докл} = \frac{4x_{докл_i}}{-2x_{докл_i} + 12y_{докл_i} + 3}; \quad (2.25)$$

$$v_{докл} = \frac{9y_{докл_i}}{-2x_{докл_i} + 12y_{докл_i} + 3}, \quad (2.26)$$

$u_{докл}$, $v_{докл}$ - координати кольоровості випромінювання досліджуваного джерела у системі UVW.

16. Розрахунок координат кольору 8 зразків при освітленні їхнім стандартним джерелом D у системі UVW.

$$w'_{0Di} = 25(y_{0Di})^{1/3} - 17; \quad (2.27)$$

$$u'_{0Di} = 13w'_{0D} (u_{0D} - u_D); \quad (2.28)$$

$$v'_{0Di} = 13w'_{0D} (v_{0D} - v_D), \quad (2.29)$$

w'_{0Di} , u'_{0Di} , v'_{0Di} - координати кольору 8 зразків при освітленні їх стандартним джерелом D у системі UVW.

17. Розрахунок координат кольору 8 зразків при освітленні їх досліджуваним джерелом у системі UVW.

$$w'_{докл} = 25 (y'_{докл})^{1/3} - 17; \quad (2.30)$$

$$u'_{докл} = 13 w'_{докл} (u_{докл} - u_{докл}); \quad (2.31)$$

$$v'_{докл} = 13 w'_{докл} (v_{докл} - v_{докл}), \quad (2.32)$$

$w'_{\text{докл}}, u'_{\text{докл}}, v'_{\text{докл}}$ - координати кольору 8 зразків при освітленні їхнім досліджуваним джерелом у системі UVW.

18. Визначаємо колірний зсув за формулою:

$$\Delta E_i = \sqrt{(u'_{0Di} - u'_{\text{докл}i})^2 + (v'_{0Di} - v'_{\text{докл}i})^2 + (w'_{0Di} - w'_{\text{докл}i})^2} \quad (2.33)$$

19. Визначаємо спеціальний індекс передачі кольору для 8 основних зразків по формулі:

$$R_i = 100 - 4,6 \cdot \Delta E_i \quad (2.34)$$

20. Загальний індекс передачі кольору може розраховуватися як середнє арифметичне від 3 спеціальних індексів передачі кольору:

$$R_a = (\sum R_i) / 8 \quad (2.35)$$

2.4. Задачі для поточного контролю знань на аудиторних заняттях

1. У колірних системах RGB, XYZ і K3C визначте координати кольору монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі $\lambda = 0,45$ мкм, потік випромінювання якого $\Phi_e = 200$ Вт.

2. У колірних системах X YZ і K3C визначте координати кольору суміші двох монохроматичних випромінювань, якщо їхні потоки випромінювання $\Phi_e = 100$ Вт і довжини хвиль $\lambda_1 = 0,56$ мкм й $\lambda_2 = 0,62$ мкм.

3. У колірних системах RGB, XYZ і K3C визначте колір випромінювання ділянки суцільного спектра від $\lambda_1 = 0,44$ мкм до $\lambda_2 = 0,54$ мкм; спектральна щільність потоку випромінювання постійна на цій ділянці спектра й дорівнює $\Phi_e(\lambda) = 0,5$ Вт/мкм⁻¹.

4. Випромінювання характеризується наступним колірним рівнянням:

$$F = -2R + 5G + 7B.$$

Визначте координати кольоровості цього випромінювання в системі RGB і його яскравість.

5. Випромінювання характеризуються наступними колірними рівняннями:

$$F1 = 2X + 3Y + 5Z$$

$$F2 = 2K + 4J + 6C.$$

Визначте координати кольоровості цих випромінювань у відповідних колірних системах й їхні яскравості.

6. Монохроматичне випромінювання з довжиною хвилі $\lambda=500\text{нм}$ має питомі координати кольору в системі RGB :

$$\bar{r}_{\lambda} = -0,07117;$$

$$\bar{g}_{\lambda} = 0,08536;$$

$$\bar{b}_{\lambda} = 0,04776$$

й енергетичну яскравість $L_e = 100 \text{ Вт/м}^{-2} \cdot \text{ср.}$

Визначте координати кольору цього випромінювання і його яскравість.

7. Монохроматичні випромінювання з довжинами хвиль $\lambda_1=0,56 \text{ мкм}$ й $\lambda_2 = 0,62 \text{ мкм}$ мають енергетичні яскравості енергетичну яскравість $L_e = 100 \text{ Вт/м}^{-2} \cdot \text{ср.}$ та $L_e = 200 \text{ Вт/м}^{-2} \cdot \text{ср.}$ Визначте в системі RGB координати кольоровості суміші цих випромінювань.

8. Сформулюйте подібність і розходження кольорів, що характеризуються колірними рівняннями:

$$F_1 = 0,3R + 0,5G + 0,25B;$$

$$F_2 = 0,1R + 0,5G + 0,45B;$$

$$F_3 = 5X + 5Y + 4Z.$$

9. Сформулюйте подібність і розходження кольорів, що характеризуються колірними рівняннями:

$$F_1 = 0,3X + Y + 0,25Z;$$

$$F_2 = 1R + 3G + 5B;$$

$$F_3 = 0,5X + 0,5Y + 0,4Z.$$

10. Сформулюйте подібність і розходження кольорів, що характеризуються колірними рівняннями:

$$F_1 = 0,3R + G + 0,25B;$$

$$F_2 = 1X + 3Y + 5Z;$$

$$F_3 = 0,5R + 0,5G + 0,4B.$$

11. У колірних системах RGB й XYZ запишіть колірні рівняння випромінювання стандартного джерела білого цвіту E, якщо його світловий потік $\Phi = 683 \text{ лм.}$

12. Джерело білого рівноенергетичного випромінювання має яскравість $L=6800$ кд·м⁻². Запишіть колірне рівняння випромінювання цього джерела в колірних системах XYZ й RGB.

13. Питомі координати кольору монохроматичного випромінювання в колірній системі RGB дорівнюють $\bar{r}_\lambda = 0,0041$; $\bar{g}_\lambda = 0$; $\bar{b}_\lambda = 0$. Визначте координати кольоровості цього випромінювання в системі XYZ.

14. Джерело монохроматичного випромінювання має енергетичну яскравість $L_{e\lambda} = 100$ Вт/м⁻²·ср і площа $A=1$ м⁻². Випромінювання цього джерела характеризується питомими координатами кольору: $\bar{x} = 0,0102$; $\bar{y} = 0,0012$; $\bar{z} = 0,00001$. Визначте координати кольору цього випромінювання в системі XYZ, якщо основні кольори вимірювати: а) у канделах на метр квадратний; б) у люменах.

15. Монохроматичне випромінювання має довжину хвилі $\lambda=620$ нм. Визначте питомі координати кольору й координати кольоровості цього випромінювання в системі КЗС.

16. Випромінювання характеризується колірним рівнянням

$$F_3 = 0,5K + 0,53 + 0,4C.$$

Запишіть колірне рівняння цього випромінювання в системі XYZ і визначте світловий потік цього випромінювання.

17. Яскравість джерела випромінювання $L=6990$ кд·м⁻² і координати кольоровості випромінювання цього джерела в системі RGB $r = -0,2$; $g = 0,1$. Запишіть колірне рівняння випромінювання цього джерела.

18. Розрахуйте в системі XYZ координати кольоровості однорідного випромінювання, питомі координати кольору якого рівні: $x'=1,06$; $y' = 0,63$; $z' = 0,0008$.

19. Рівнояскравий диск випромінює в напрямку, перпендикулярному площині основи, силу світла $I=10$ кд. Запишіть колірне рівняння випромінювання диска, якщо координати кольоровості цього випромінювання $x = 0,3$; $y = 0,3$.

20. Рівнояскравий диск діаметром 1 див випромінює світловий потік $\Phi = 6310$ лм і має координати кольоровості $x = 0,3$; $y = 0,4$. Запишіть колірні рівняння цього випромінювання, виражаючи основні кольори: а) у люменах;

б) у канделах на квадратний метр.

21. Рівнояскравий циліндр випромінює два монохроматичних потоки з довжинами хвиль $\lambda_1=0,5$ мкм і $\lambda_2=0,6$ мкм. Сила світла в напрямку, перпендикулярному осі циліндра, відповідно дорівнює $I_1 = 20$ кд й $I_2 = 40$ кд. Визначте координати кольоровості випромінювання циліндра й запишіть колірне рівняння цього випромінювання.

22. На поверхню зі спектральними коефіцієнтами відбиття $\rho_1=0,5$ й $\rho_2=0,7$ падають монохроматичні потоки. Визначте координати кольоровості відбитого випромінювання, якщо спектральні опромінення цієї поверхні відповідно рівні $E_{e1}=0,5$ Вт·м⁻²; $E_{e2}=0,2$ Вт·м⁻² ($\lambda_1=0,7$ мкм; $\lambda_2=0,5$ мкм).

23. Рівнояскравий циліндр діаметром 5 мм і висотою 15 мм випромінює монохроматичні потоки $\Phi_{e1}=2$ Вт і $\Phi_{e2}=3,5$ Вт ($\lambda_1=0,51$ мкм; $\lambda_2=0,64$ мкм). Запишіть колірне рівняння випромінювання циліндра для основних кольорів і визначте яскравість циліндра якщо світиться тільки його бокова поверхня.

24. На поверхні зі спектральними коефіцієнтами відбиття $\rho_1=0,4$ й $\rho_2=0,1$ монохроматичні потоки створюють освітленість $E_1=316$ лк і $E_2=632$ лк. Визначте координати кольоровості потоку, відбитого цією поверхнею, якщо $\lambda_1=0,55$ мкм; $\lambda_2=0,65$ мкм.

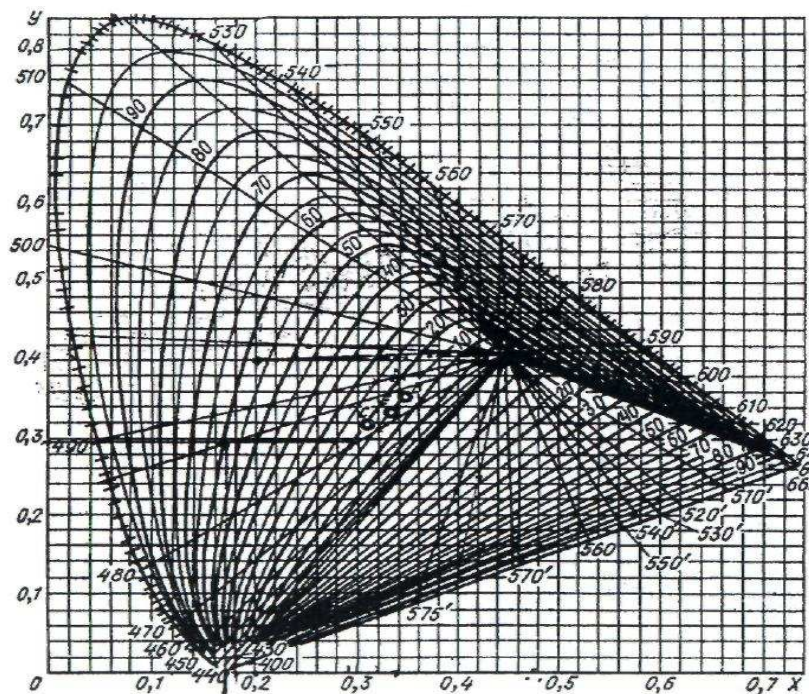
ДОДАТКИ

Параметри a та b

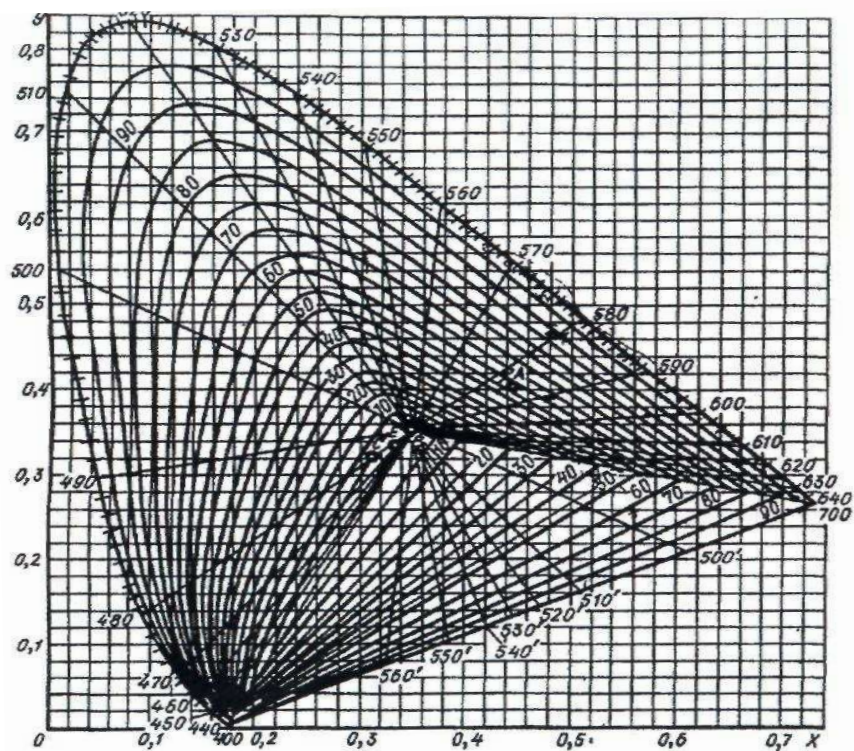
Кутовий розмір кола	Яскравість фону					
	$L_\phi \leq 10^{-2}$		$10^{-2} \leq L_\phi \leq 10$		$10 \leq L_\phi$	
	1-a	b	1-a	b	1-a	b
0.5'	0.88	0.22	0.65	0,08	0,34	0,16
1	0,86	1.44	0.60	0.40	0.32	0:73
2	0.84	4.4	0.57	1.4	0,27	2.8
5	0.8	18	0,53	5.5	0,22	11,5
10	0.76	40	0.48	11,5	0.17	23
20	0.69	87	0.44	22	0.13	45
50	0.57	100	0.4	40	0.07	70
200	0.5	200	0.35	71	0.03	120
1500	0.5	400	0,3	120	0.02	120

Діаграми кольоровості джерел типу А,В,С

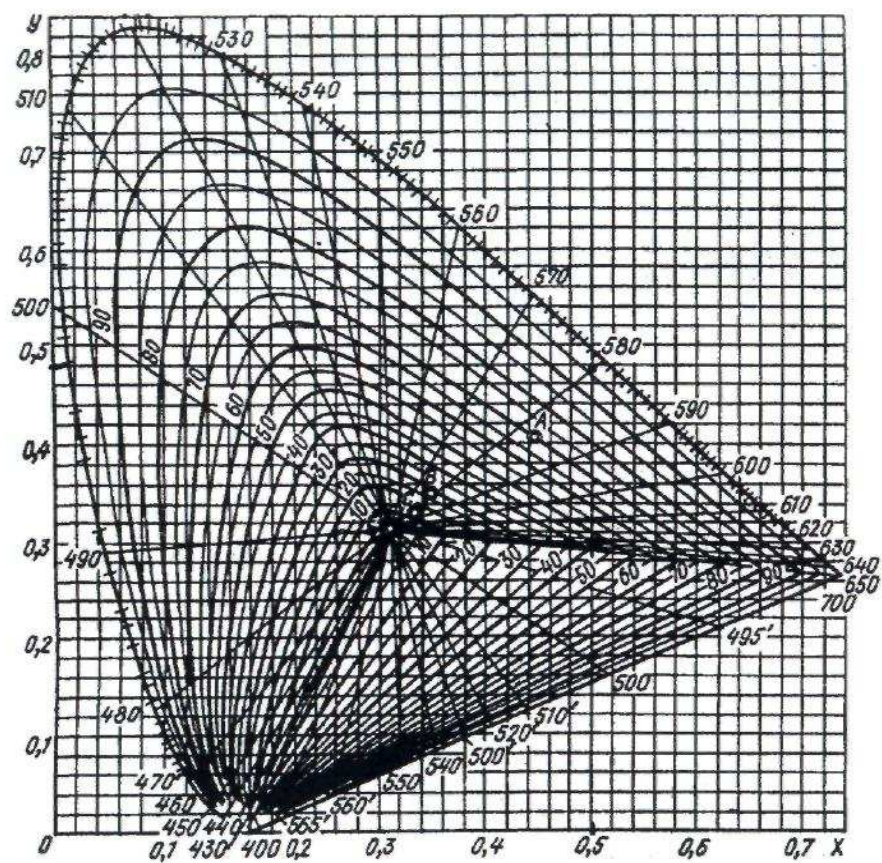
ДЖЕРЕЛО ТИПУ А



ДЖЕРЕЛО ТИПУ В

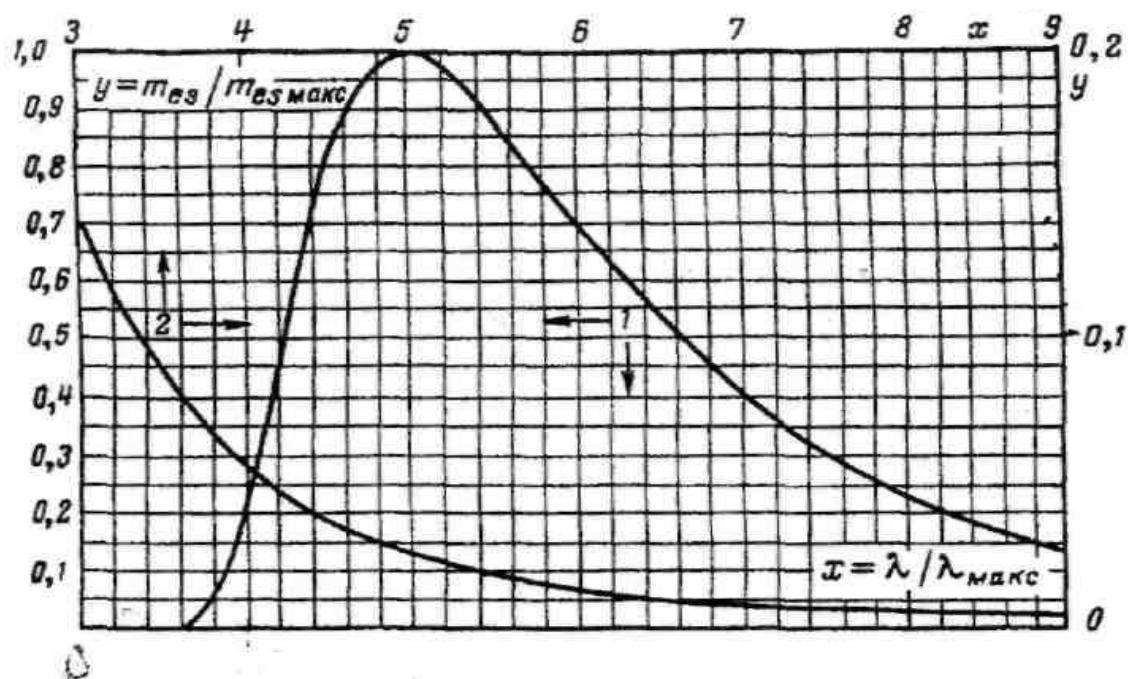


ДЖЕРЕЛО ТИПУ С



Додаток 3

Універсальна крива випромінювання чорного тіла



Додаток 4

Оптична густина потоку випромінювання для джерел А, В, С і
нормалізована функції відносної спектральної світлової ефективності
випромінювання

λ	$\Phi_{e(\lambda)A}$	$\Phi_{e(\lambda)B}$	$\Phi_{e(\lambda)C}$	$V_{(\lambda)}$
380	9,79	22,40	33,00	0,00004
390	12,09	31,30	47,40	0,00012
400	14,71	41,30	63,30	0,0004
410	17,68	52,10	80,60	0,0012
420	21	63,20	98,10	0,004
430	24,67	73,10	112,40	0,0116
440	28,7	80,80	121,50	0,023
450	33,09	85,40	124,00	0,038
460	37,82	88,30	123,10	0,06
470	42,87	92,00	123,80	0,091
480	48,25	95,20	123,90	0,139
490	53,91	96,50	120,70	0,208
500	59,86	94,20	112,10	0,323
510	66,06	90,70	102,30	0,503
520	72,5	89,50	96,90	0,71
530	79,13	92,20	98,00	0,862
540	85,95	96,90	102,10	0,954
550	92,91	101,00	105,20	0,995
560	100	102,80	105,30	0,995
570	107,18	102,60	102,30	0,952
580	114,44	101,00	97,80	0,87
590	121,73	99,20	93,20	0,757
600	129,04	98,00	89,70	0,631
610	136,34	99,50	88,40	0,503
620	143,62	99,70	88,10	0,381
630	150,83	101,00	88,00	0,265
640	157,98	102,20	87,80	0,175
650	165,03	103,90	88,20	0,107
660	171,96	105,00	87,90	0,061
670	178,77	104,90	86,30	0,032
680	185,43	103,90	84,00	0,17
690	191,93	101,60	80,20	0,0082
700	198,26	99,10	76,30	0,0041
710	204,41	96,20	72,40	0,0021
720	210,36	92,90	68,30	0,00105
730	216,12	89,40	64,40	0,00052
740	221,66	86,90	61,50	0,00025
750	227	85,20	59,20	0,00012
760	232,11	84,70	58,10	0,00006
770	237,01	85,40	59,20	0,00003
780	241,67	87	59,10	0,00003

Питомі координати кольору у системах RGB і XYZ

λ	\bar{r}	\bar{g}	\bar{b}	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}
380	0,00003	0,00001	0,00117	0,0014	0,0000	0,0065
390	0,00010	-0,00004	0,00359	0,0042	0,0001	0,0201
400	0,00030	-0,00014	0,01214	0,0143	0,0004	0,0679
410	0,00084	-0,00041	0,03707	0,0435	0,0012	0,2074
420	0,00211	-0,00110	0,11541	0,1344	0,0040	0,6456
430	0,00218	-0,00119	0,24769	0,2839	0,0116	1,3856
440	-0,00261	0,00149	0,31228	0,3483	0,0230	1,7471
450	-0,01213	0,00678	0,31670	0,3362	0,0380	1,7721
460	-0,02608	0,01485	0,29821	0,2908	0,0600	1,6692
470	-0,03933	0,02538	0,22991	0,1954	0,0910	1,2876
480	-0,04939	0,03914	0,14494	0,0956	0,1390	0,8130
490	-0,05814	0,05689	0,08257	0,0320	0,2080	0,4652
500	-0,07173	0,08536	0,04776	0,0049	0,3230	0,2720
510	-0,08901	0,12860	0,02698	0,0093	0,5030	0,1582
520	-0,09264	0,17468	0,01221	0,0633	0,7100	0,0782
530	-0,07101	0,20317	0,00549	0,1655	0,8620	0,0422
540	-0,03152	0,21456	0,00146	0,2904	0,9540	0,0203
550	0,02279	0,21178	-0,00058	0,4334	0,9950	0,0087
560	0,09060	0,19702	-0,00130	0,5945	0,9950	0,0039
570	0,16768	0,18087	-0,00135	0,7621	0,9520	0,0021
580	0,24526	0,13610	-0,00108	0,9163	0,8700	0,0017
590	0,3029	0,09754	-0,00079	1,0263	0,7570	0,0011
600	0,34429	0,06246	-0,00049	1,0622	0,6310	0,0008
610	0,39971	0,03557	-0,00030	1,0026	0,5030	0,0003
620	0,29708	0,01828	-0,00015	0,8544	0,3810	0,0002
630	0,22677	0,00833	-0,00008	0,6424	0,2650	0,0000
640	0,15968	0,00334	-0,00003	0,4479	0,1750	0,0000
650	0,10167	0,00116	-0,00001	0,2836	0,1070	0,0000
660	0,05932	0,00037	-0,00000	0,1649	0,0610	0,0000
670	0,04366	0,00021	-0,00000	0,0874	0,0320	0,0000
680	0,01687	0,00003	0,00000	0,0468	0,0170	0,0000
690	0,00819	0,00000	0,00000	0,0227	0,0082	0,0000
700	0,00410	0,00000	0,00000	0,0114	0,0041	0,0000
710	0,00210	0,00000	0,00000	0,0058	0,0021	0,0000
720	0,00105	0,00000	0,00000'	0,0029	0,0010	0,0000
730	0,00052	0,00000	0,00000	0,0014	0,0005	0,0000
740	0,00025	0,00000	0,00000	0,0007	0,0003	0,0000
750	0,00000	0,00000	0,00000	0,0003	0,0001	0,0000
760	0,00006	0,00000	0,00000	0,0002	0,0001	0,0000
770	0,00003	0,00000	0,00000	0,0001	0,0000	0,0000
780	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000

Спектральні коефіцієнти яскравості контрольних зразків МКО
для оцінки передачі кольору

λ , нм	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8
380	0,22	0,07	0,065	0,074	0,295	0,151	0,378	0,104
390	0,252	0,089	0,07	0,093	0,31	0,265	0,524	0,170
400	0,256	0,111	0,073	0,116	0,313	0,41	0,551	0,319
410	0,252	0,118	0,074	0,124	0,319	0,492	0,559	0,462
420	0,244	0,121	0,074	0,128	0,326	0,517	0,561	0,490
430	0,237	0,122	0,073	0,135	0,334	0,531	0,556	0,482
440	0,23	0,123	0,073	0,144	0,346	0,544	0,544	0,462
450	0,225	0,127	0,074	0,161	0,36	0,556	0,522	0,439
460	0,22	0,131	0,077	0,186	0,381	0,554	0,488	0,413
470	0,216	0,138	0,085	0,229	0,403	0,541	0,448	0,382
480	0,214	0,15	0,109	0,281	0,415	0,519	0,408	0,352
490	0,216	0,174	0,148	0,332	0,419	0,488	0,363	0,325
500	0,223	0,207	0,198	0,37	0,413	0,45	0,324	0,299
510	0,226	0,242	0,241	0,39	0,403	0,414	0,301	0,283
520	0,225	0,26	0,278	0,395	0,389	0,377	0,283	0,270
530	0,227	0,267	0,339	0,385	0,372	0,341	0,265	0,256
540	0,236	0,272	0,392	0,367	0,353	0,309	0,257	0,250
550	0,253	0,282	0,4	0,341	0,331	0,279	0,259	0,254
560	0,272	0,299	0,38	0,312	0,308	0,253	0,26	0,264
570	0,298	0,322	0,349	0,28	0,284	0,234	0,256	0,272
580	0,341	0,335	0,315	0,247	0,26	0,225	0,254	0,278
590	0,390	0,341	0,285	0,214	0,232	0,221	0,270	0,295
600	0,424	0,342	0,264	0,185	0,210	0,220	0,302	0,348
610	0,442	0,342	0,252	0,169	0,194	0,220	0,344	0,434
620	0,450	0,341	0,241	0,160	0,185	0,223	0,377	0,528
630	0,451	0,339	0,229	0,154	0,180	0,233	0,400	0,604
640	0,451	0,338	0,220	0,151	0,176	0,244	0,420	0,648
650	0,450	0,336	0,216	0,148	0,175	0,258	0,438	0,676
660	0,451	0,334	0,219	0,148	0,175	0,268	0,452	0,693
670	0,453	0,332	0,230	0,151	0,180	0,278	0,462	0,705
680	0,455	0,331	0,251	0,158	0,186	0,283	0,468	0,712
690	0,458	0,329	0,288	0,165	0,192	0,291	0,473	0,717
700	0,462	0,328	0,340	0,170	0,199	0,302	0,483	0,721
710	0,464	0,326	0,390	0,170	0,199	0,325	0,496	0,719
720	0,466	0,324	0,431	0,166	0,196	0,351	0,511	0,725
730	0,466	0,324	0,460	0,164	0,195	0,376	0,525	0,729
740	0,467	0,322	0,481	0,168	0,197	0,401	0,539	0,730
750	0,467	0,320	0,493	0,177	0,203	0,425	0,553	0,730
760	0,467	0,316	0,500	0,185	0,208	0,447	0,565	0,730
770	0,467	0,315	0,505	0,192	0,215	0,469	0,575	0,730
780	0,467	0,314	0,516	0,197	0,219	0,485	0,581	0,730

Список літератури

1. Мешков В.В., Матвеев А.Б. Основы светотехники. Ч. 2. М.: Энергоатомиздат, 1991, 430 с.
2. Пэдхемм Ч., Сондерс Д. Восприятие света и цвета. М., Мир, 1978.
3. Справочная книга по светотехнике. /Под ред. Ю.Б.Айзенберга.3-е изд. -М.: Знак, 2005, с.9-50.
4. Брилл Т. Свет. Воздействие на произведения искусства. М., Мир, 1983.
5. Гуторов М.М. Сборник задач по основам светотехники. -М.: Энергоатомиздат, 1988, 128 с.
6. Овчинников С.С., Поліщук В.М. Основы світлотехніки. Навчально-методичний посібник з практичного вивчення курсу. - ХДАМГ, Харків, 2002
7. Овчинников С.С., Поліщук В.М. Основы світлотехніки. Навчально-методичний посібник з практичного вивчення курсу. - ХДАМГ, Харків, 2004.
8. Д.Джадд, Г.Вышецки. Цвет в науке и технике. Перевод с английского. М.1978, 592 с.
9. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. М.: Энергия, 1972.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ОВЧИННИКОВ Станіслав Степанович,
СІРОБАБА Олексій Олександрович

Методичні вказівки до практичних занять, самостійної роботи студентів та виконання контрольних (розрахунково-графічних) робіт з дисципліни **“Фізіологічна оптика та колориметрія ”** (для студентів 4 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”, 0906 “Електротехніка ” спеціальності “Світлотехніка і джерела світла”).

Редактор *Д. Ф. Курильченко*
Комп’ютерний набір *О. О. Сіробаба*
Комп’ютерне верстання: *Ю.П. Степась*

План 2009, поз. 301М

Підп. до друку 13.05.2010 р.
Друк на ризографі
Тираж 50 пр.

Формат 60 x 84 ¹/₁₆.
Ум. друк. арк. 2,6
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи:
ДК №731 від 19.12.2001